

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. H.-B. Wuermeling

Cadmium- und Kupferwerte
in Stuhl, Urin und Blut
nach Aufnahme
wildwachsender Champignons

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Emil Rohmer
aus Bayreuth

1904



Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. H.-B. Wuermeling

**Cadmium- und Kupferwerte
in Stuhl, Urin und Blut
nach Aufnahme
wildwachsender Champignons**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Emil Rohmer
aus Bayreuth

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. F. Wolf
Referent: Priv.-Doz. Dr. B. Schellmann
Korreferent: Prof. Dr. H.-B. Wuermeling
Tag der mündlichen Prüfung: 02.04.1984

Gewidmet

meinen lieben Eltern

in tiefer Dankbarkeit.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALT

	Seite
1. EINLEITUNG	2
1.1. Cadmium als Umweltgift	2
1.2. Cadmium in Pilzen	4
2. PROBLEMSTELLUNG	6
3. MATERIAL UND METHODEN	6
3.1. Teilnehmer und Versuchsaufbau	6
3.2. Asservierung des Untersuchungsmaterials	9
3.3. Analysenmethoden	10
3.3.1. Geräte, Chemikalien und Lösungen	11
3.3.2. Arbeitsvorschriften	13
3.3.3. Atomabsorptionsspektrometrie	16
3.3.4. Qualitätskontrolle, Präzision und Richtigkeit	16
4. ERGEBNISSE	21
4.1. Cadmium und Kupfer in den Pilzmahlzeiten	21
4.2. Cadmium und Kupfer im biologischen Material	23
4.2.1. Cadmium im Stuhl	25
4.2.2. Cadmium im Blut	27
4.2.3. Cadmium im Urin	27
4.2.4. Kupfer im Blut und Urin	28
4.2.5. Kupfer in den Stuhlproben	28
4.3. Statistische Auswertung	29
5. DISKUSSION	32
6. ZUSAMMENFASSUNG	36
7. LITERATURVERZEICHNIS	37
8. ANHANG	45

1. EINLEITUNG

1.1. Cadmium als Umweltgift

Cadmium zählt zu den als toxisch inkriminierten Schwermetallen. Arbeitsmedizinische Untersuchungen haben eine Vielzahl von Schadwirkungen auf den menschlichen und tierischen Organismus nachgewiesen. Akute Cadmiumvergiftungen führen zu Gewebsnekrosen, Lungenschäden, Darmkoliken, Fieber und Schocksymptomatik bis zum Tod (WHO 1975, Commission of the European Communities 1978, Friberg et al. 1979). Intoxikationserscheinungen bei extremer Cadmiumexposition zeigten sich z.B. bei Müllwerkern (Pudill und Weinand 1981) und Phosphatarbeitern (Sharma 1981).

Der chronischen Cadmiumbelastung wird in letzter Zeit erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt, da epidemiologische Studien cadmiuminduzierte Nephropathien, Lungenschäden und Knochenveränderungen nachweisen (Ohnesorge 1974, Commission of the European Communities 1978, Verband der Chemischen Industrie 1981).

Wirkungen auf Herz und Kreislauf, Leber und hämatopoetisches System, karzinogene, teratogene und neurotoxische Eigenschaften werden noch diskutiert (Szadkowski et al. 1969, Commission of the European Communities 1978, Berichte des Umweltbundesamtes 1977, Schäfer und Forth 1982).

Seit einigen Jahren findet Cadmium auch zunehmend Beachtung als Umweltgift, da in industrialisierten Gebieten Luft, Gewässer und Böden mit Schwermetallen kontaminiert sind (Berichte des Umweltbundesamtes 1977, Anhörung zu Cadmium 1981, Umweltbundesamt), aber auch industrieferne Regionen durch die Emission zunehmend belastet werden.

Die dadurch für den Menschen entstehende Gefährdung wird durch Untersuchungen an Kollektiven beurteilbar (Thürauf et al. 1981). Daneben wird auch die Bedeutung von Cadmium als essentielles Spurenelement diskutiert (Döhnhardt 1981, Coulston 1981).

Für die Emission von Cadmium werden Hüttenwerke und metallverarbeitende Industrie, Kunststoff-, Farben- und Glasherstellung sowie die Verwendung fossiler Brennstoffe verantwortlich gemacht. Dies führt zur Erhöhung der Cadmiumwerte im Boden und in Gewässern (Welzel 1981). Auf extreme Cadmiumkonzentrationen (1000 bis 10000fach erhöht) haben Koppe (1981) und Förstner (1981) hingewiesen. Solche Cadmianreicherungen gelten heute als Warnsignal, da die Menschen offenbar über die Nahrungskette direkt durch die Schwermetalle gefährdet werden.

Obwohl Cadmiumverbrauch und -erzeugung in der BRD stagnieren (Verband der Chemischen Industrie 1981, Welzel 1981), steht die Frage der Bioakkumulation des Schwermetalls im Mittelpunkt des Interesses auch im Zusammenhang mit der aktuellen Schwermetallbelastung der Bevölkerung durch kontaminierte Nahrungsmittel und Zigarettenkonsum (Essing et al. 1969, Lewis et al. 1972, BGA 1979, Käferstein 1980). In den meisten Untersuchungen, die die Frage der Cadmiumbelastung durch Nahrungsmittel betreffen, wird vom Cadmiumgehalt der Nahrung auf die resorbierte Cadmiummenge geschlossen, ohne daß einzelne Nahrungsmittel besonders differenziert betrachtet würden. So empfiehlt die WHO, den Verzehr cadmiumbelasteter Lebensmittel wie Innereien, Muscheln, Austern und wildwachsende Pilze einzuschränken, um



den vorgeschlagenen Grenzwert einer Cadmiumzufuhr von 400 bis 500 µg Cd pro Woche nicht zu überschreiten. Lorenz (1981) und Käferstein (1981) weisen jedoch darauf hin, daß dieser Wert in der BRD bereits zu 54 % bzw. 55 % für den Durchschnitt der Bevölkerung erreicht ist.

1.2. Cadmium in Pilzen

Unter den pflanzlichen Nahrungsmitteln ist insbesondere der Cadmiumgehalt in wildwachsenden Speisepilzen (Champignons) Gegenstand ausgedehnter Untersuchungen gewesen. In verschiedenen Champignonarten sind teilweise erhebliche Cadmiumkonzentrationen gefunden worden (Collet 1977, Meisch et al. 1977, Laub et al. 1977, Bötticher 1978, Seeger et al. 1978, Schellmann und Opitz 1978, Seeger 1982). Vor dem zu reichlichen Genuß wildwachsender Pilze wurde daher in der Presse verschiedentlich gewarnt (Süddeutsche Zeitung 1978, BGA 1978, Verbraucherzentrale Bayern e.V. 1980).

Bei der Analyse der Pilze stellte sich heraus, daß der Cadmiumgehalt bei Champignons in Lamellen (Hut) und Stiel unterschiedlich ist (z.B. Seeger et al. 1978). Darüber hinaus zeigte sich, daß die Konzentration des Schwermetalls weniger vom Cadmiumgehalt in den Böden (und damit von der Kontamination) abhängt, sondern daß die Akkumulierung eindeutig artspezifisch war (Bötticher 1978, Seeger 1982). So erreichten z.B. Zuchtchampignons, die auf cadmiumhaltigem Klärschlamm gezogen wurden, nur relativ geringe Cadmiumkonzentrationen (Hasuk 1975), während wildwachsende Spezies wie *agaricus arvensis* und *agaricus abruptibulbus* eine

Anreicherung des Schwermetalls bis zum 50- bis 300-fachen der Bodenkonzentration erreichten (Meisch et al. 1981, Seeger 1982). Meisch et al. (1981) konnten weiter zeigen, daß Cadmium für *agaricus abruptibulbus* sogar als Wachstumsfaktor Bedeutung hat.

Auf Grund der zahlreichen Cadmium-Analysen wurde die Cadmiumbelastung durch den Genuß von Speisepilzen hervorgehoben, wobei die Untersucher den in vitro bestimmten Cadmiumgehalt der Pilze zugrunde legten. Die geringe enterale Resorptionsquote des Schwermetalls von 5 % bis 7 % (Commission of the European Communities 1978) wurde jedoch weitgehend nicht berücksichtigt. Daß darüber hinaus die Verdaulichkeit der Pilzzelle durch die Chitinmembran erheblich eingeschränkt ist (Bielka 1973, Böttcher 1974, Zeitlmayr 1976) und daher je nach dem Grad des mechanischen Aufschlusses nur in der Größenordnung von 10 % liegen soll, geht in die Überlegungen nicht ein. Detaillierte Untersuchungen zu dieser Thematik liegen allerdings nicht vor.

Kruse und Lommel (1979) unternahmen den Versuch, die Eiweißbindung des Cadmiums in Schafchampignons zu bestimmen. Sie wiesen in ihrer Arbeit auch auf die Frage des Ausmaßes der Resorbierbarkeit des Cadmiums aus Pilznahrung hin und betonten in diesem Zusammenhang den Wert von "Verfütterungsversuchen" mit cadmiumhaltigen Pilzen.

2. PROBLEMSTELLUNG

Frühere Arbeiten zur Cadmium- und Kupferausscheidung im Stuhl und Urin nach Aufnahme größerer Mengen wildwachsender Champignons ließen den Schluß zu, daß küchentechnisch aufbereitete Egerlinge weitgehend unverdaut den menschlichen Darm passieren, ohne daß es dabei zu einer wesentlichen Resorption des Cadmiums kommt (Schellmann et al. 1980).

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung sollte sein, diese Aussage zu erhärten. Ausgehend von den "normalen" Cadmium- und Kupferspiegeln in den Körperausscheidungen und im Blut, sollte jetzt überprüft werden, ob zusätzlich eingenommene Pilzmahlzeiten (in physiologischer Menge) zu einer Erhöhung der Cadmium- und Kupferwerte im Blut, Stuhl und Urin führen. Damit soll das Ausmaß der Resorption beider Schwermetalle nach dem Genuß wildwachsender Champignons besser abgeschätzt werden können.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. Teilnehmer und Versuchsaufbau

Versuchsteilnehmer:

Für den Versuch standen 8 Personen im Alter von 22 bis 54 Jahren zur Verfügung. Von ihnen waren zwei Raucher und sechs Nichtraucher. Die drei weiblichen Teilnehmer waren 22, 23 und 54 Jahre alt. Zwei 23-jährige und je ein 25-, 38- und 54-jähriger stellten das Kollektiv der Männer. Alle Probanden waren - soweit überprüfbar - gesund, insbe-

sondere ohne bekannte Stoffwechsel- oder Verdauungsstörungen. In den Tagen vor der Asservierung der Ausscheidungen war den Probanden empfohlen worden, alle Nahrungsmittel zu vermeiden, die als besonders kupfer- bzw. cadmiumbelastet gelten (Leber, Nieren, Muscheln, Thunfisch und ähnliche Konserven). Eine Kontrolle war durch das Protokoll der jeweiligen Speisepläne gegeben.

Versuchsablauf:

Der Versuch wurde bei 6 Probanden auf 9 Tage (Versuchspersonen A bis F), bei zwei weiteren Teilnehmern (G und H) auf 10 Tage festgelegt. Die ersten 3 bzw. 4 Versuchstage dienten dazu, die "normalen" individuellen Kupfer- und Cadmiumspiegel in Blut, Urin sowie im Stuhl zu ermitteln. Am 3., 4. und 5. Versuchstag (bei den Personen G und H am 4., 5. und 6. Tag) wurden - neben den üblichen Mahlzeiten - Champignons in einem gemeinsamen Mittagessen verzehrt. In den darauf folgenden Tagen (6 bis 9 bzw. 7 bis 10) sollte die Elimination der beiden Schwermetalle erfaßt werden.

Ernährung und Champignon-Mahlzeiten:

Während der gesamten Versuchsdauer wurde von den einzelnen Probanden ihre "normale" Nahrung aufgenommen. Dabei sollte auf den Verzehr besonders cadmium- oder kupferbelasteter Nahrungsmittel wie Innereien, Fische wieder verzichtet werden, insbesondere an den Tagen, wo Champignons gegessen wurden. Über die qualitative Zusammensetzung ihrer Mahlzeiten führten alle Probanden ein Protokoll. Außerdem wurden die Rauchgewohnheiten, d.h. die Zahl der pro Ver-

suchstag gerauchten Zigaretten, festgehalten (Personen D und H).

Für die Pilzmahlzeiten wurde ein Gemisch wildwachsender Champignons verwendet, das im wesentlichen aus Wiesen-champignons bestand, die im Oktober 1981 in den ländlichen Regionen der Oberpfalz, in Ober- und Mittelfranken (Landkreise Bayreuth, Bamberg, Neustadt a.d. Waldnaab, Erlangen) gesammelt wurden.

Die frischen Pilze wurden sofort gesäubert und grob zerkleinert, die Lamellenanteile belassen. Da die Pilze sich bezüglich ihres Alters und ihrer Art (*agaricus campestris*, *agaricus arvensis*, *agaricus macrosporus*, *agaricus radicans*) unterschieden (Cetto 1979), wurden die Egerlinge als Mischung tiefgefroren aufbewahrt.

Die als Pilzgemüse zubereiteten Champignons (geschnitzelt in Pflanzenfett gebraten und mit Kräutern und Sahne abgeschmeckt) verzehrten die Teilnehmer A bis F in einem gemeinsamen Mittagessen am 3., 4. und 5. Versuchstag, die Personen G und H jeweils einen Tag später. Auf diese Weise sollte gewährleistet werden, daß jeder Proband die gleiche Mischung aus den verschiedenen Champignonqualitäten zu sich nahm. Die Portionen wurden für jede Testperson abgewogen. Je nach Appetit wurden 250 bis 300 Gramm Pilze pro Person und Mahlzeit verzehrt. (Bezogen auf den ursprünglichen Wassergehalt der Pilze kann man von Mahlzeiten aus 340 bis 450 Gramm Frischpilzen ausgehen.) Die genauen Mengenangaben für jede Versuchsperson sind den Tabellen zu entnehmen (Tab. 6).

Weißbrot und Getränke standen ad libitum zur Verfügung.

3.2. Asservierung des Untersuchungsmaterials

Der Gesamtstuhl wurde in verschließbaren Polyethylen-Bechern getrennt nach einzelnen Defäkationen der jeweiligen Probanden gesammelt, noch am gleichen Tag das Frischgewicht ermittelt und die Probe bis zur Homogenisierung kühl aufbewahrt. Bis zur Veraschung und Bestimmung des Cadmium- und Kupfergehalts war der Stuhl bei -18°C tiefgefroren.

Den Probanden wurde in den Abendstunden an jedem Versuchstag 5 ml venöses Blut mit EDTA-Monovetten entnommen und damit ungerinnbar gemacht.

Das Gesamtvolumen eines jeden Morgenurins wurde aufgefangen und nach der Bestimmung des Volumens ein 200- oder 300- ml - PVC-Fläschchen abgefüllt. Diese Proben wurden wie die Blutvolumina bis zur Analyse tiefgefroren.

Ein aliquoter Teil jeder fertig zubereiteten Pilzmahlzeit einschließlich der verwendeten Zutaten wurde in Becher gefüllt und für die Homogenisierung und Veraschung tiefgefroren aufbewahrt.

3.3. Analysenmethoden

Prinzip der Methoden

Champignon- und Stuhlproben wurden naß, oxidativ verascht. Nach entsprechender Verdünnung wurden die Aufschlußlösungen atomabsorptionsspektrometrisch auf ihren Cadmium- und Kupfergehalt untersucht.

Zur Cd- und Cu-Bestimmung im Harn erfolgte als Probenvorbereitung eine Komplexbildung der Metalle mit Ammoniumpyrrolidindithiocarbamat (APDC) und anschließender Extraktion mit Methylisobutylketon (MIBK). Die organische Phase wurde wiederum atomabsorptionsspektrometrisch vermessen (Schaller und Zober 1982).

Zur Cadmiumanalyse im Vollblut wurde die Probe mit Salpetersäure enteiweißt und der Überstand nach Zentrifugation mit der elektrothermalen Atomabsorptionsspektrometrie untersucht (Stoeppler et al. 1982).

Die Kupferkonzentration im Vollblut wurde nach Verdünnung der Probe mit Wasser durch Flammenatomabsorptionsspektrometrie ermittelt.

3.3.1. Geräte, Chemikalien und Lösungen

GERÄTE:

Mixer Multimix MX 32 (Braun),
Analysenwaage (Sartorius),
Büchi-Digestor 445 (Büchi),
Sandbad,
Beckman Digital pH-Meter Model 76 (Beckman),
Schüttelmaschine LS 20 (Gerhardt),
Vortex-Mischer (Heidolph),
Roller Mixer A 258 (Denley),
Ultraschallbad Bransonic 220 (Bransonic),
Kühlzentrifuge Typ Nr. 4123 (Heraeus-Christ),
Spektralphotometer (Zeiss),
Atomabsorptionsspektrophotometer AA-375 (Varian),
Carbon Rod Atomizer CRA-90 (Varian),
Automatischer Probengeber ASD-53 (Varian),
Recorder Model 9176 (Varian),
Cadmiumhohlkathodenlampe (Varian Techtron),
Flammenatomabsorptionsspektrophotometer 403 mit
Burner Control 403 (Perkin-Elmer),
Kupfer- und Cadmiumhohlkathodenlampen (Perkin-Elmer),
Kolbenhubpipetten von 20-1000 μ l und 1-10 ml,
50 und 100 ml-Meßkolben, 1-50 ml Vollpipetten,
Bechergläser 100 ml Duran, Jenaer Glas,
Zentrifugenröhren 10 und 20 ml (Sarstedt),
Kunststoffstuhlröhrchen und EDTA-Monovetten (Sarstedt),
PVC-Flaschen 150 und 300 ml, Urinflaschen 2000 ml.

CHEMIKALIEN:

Salpetersäure 70 proz. Suprapur (Baker),
Salpetersäure 65 proz. p.a., Perchlorsäure 20 proz. p.a.,
Schwefelsäure 95-97 proz. p.a. (alle Merck),
Aqua bidestillata und
Ultrareines Wasser (Milli-Q-Anlage, Millipore),
Ammoniumpyrrolidindithiocarbamat p.a. (APDC) (Merck),
Methylisobutylketon p.a. (MIBK) (Merck),
Triton-X-100 (Roth),
gesättigte Pikrinsäure (Merck),
Stickstoff (nachgereinigt), Acetylen, Preßluft.

LÖSUNGEN UND VERGLEICHSTANDARDS:

0,3 M und 1 M Salpetersäure,
Natronlauge 10 proz.,
Ammoniumpyrrolidindithiocarbamat, 5 proz. wäßrig,
Triton-X-100-Lösung, 5 proz. wäßrig,
Kontrollurin Lanonorm-Metalle 1 und 2 (Behring-Werke),
Kontrollblut für Metalle 1 (Behring-Werke),
Cation-CalTM Calibration Reference (American Dade),
Cadmium-Stammlösung Baker Instra-Analyzed 1 g/l
(Nr. Lot 019143) (Baker),
Kupfer-Stammlösung 1 g/l Titrisol (Nr. 9987) (Merck).

Herstellung von Cadmiumstandardlösungen in Konzentrationen
von 2 µg Cd/l bis 30 µg Cd/l in 1 M Salpetersäure für die
Blutanalyse, im Bereich von 20 bis 320 µg Cd/l in 0,3 M
HNO₃ für die Champignon-, Stuhl- und Urinproben.
Verwendung wäßriger Eichlösungen von 250 bis 1000 µg Cu/l

bei der Kupferbestimmung.

3.3.2. Arbeitsvorschriften

3.3.2.1. Cadmium- und Kupferbestimmung der Champignons

Alle Proben der Pilzmahlzeiten wurden mit definierten Wassermengen versetzt und im Elektromixer homogenisiert, um einen vollständigen Aufschluß zu gewährleisten.

Für die nasse, oxidative Veraschung von jeweils 1-1,5 g homogener Pilzmasse Zugabe von je 5 ml konzentrierter H_2SO_4 und 65 proz. HNO_3 in 100 ml-Bechergläsern, Erhitzen im Sandbad bis zum Entstehen einer klaren Flüssigkeit. Dabei empfahl sich ein tropfenweiser Zusatz von Perchlorsäure 20 proz. Die Veraschungslösung wurde schonend zur Trockene eingedampft und der Rückstand in 20 ml warmem Aqua bidest. aufgenommen.

Für Kontrollzwecke Veraschung dieser Proben auch unter Rückfluß. Es erfolgte die Einwaage von 3 bis 4 g homogenisierter Probenmenge in Glaskölbchen und dann der vollständige Aufschluß mit 10 ml 70 proz. Salpetersäure im Salzbad. Auffüllung mit Aqua bidest.

Die Bestimmung der Cadmiumgehalte erfolgte elektrothermal und mittels Flammenatomabsorptionsspektrometrie:

a) flammenlose Meßmethode:

Verdünnung von 0,2 ml Aufschlußlösung mit 0,3 M Salpetersäure im Verhältnis 1:20. Durch Zusatz einer 80 $\mu g/l$ Cadmiumstandardlösung interne Standardaddition. Schütteln der Ansätze über 5 Minuten und Einsetzen für die elektrothermale Atomabsorption. Die Konzentrationen

ließen sich durch Extrapolation ermitteln. Die gleiche Verarbeitung erfuhren die Reagenzien und aufgeschlossenen Essenszutaten für die Leerwertbestimmung.

b) Flammenatomabsorption:

Einstellung von je 5 ml der Aufschlußlösung auf pH 2,5. Ausschütteln mit 0,5 ml APDC-Lösung und 2 ml Methylisobutylketon. Zentrifugieren über 10 min bei 5500 min^{-1} . Abpipettieren der organischen Phase für die Messung.

Die Analyse des Kupfergehalts der Pilze erfolgte mittels der Flammenatomabsorptionsspektrometrie:

Abmessung der Veraschungslösungen und Aqua bidest. zu gleichen Teilen, Schütteln, dann direktes Einspritzen der Lösung in die Flamme. Mit Eichlösungen von 0 bis $1000 \mu\text{g Cu/l}$ Ermittlung der Kupferkonzentrationen der Proben. Überprüfung der verwendeten Reagenzien und der Essenszutaten auf ihre Blindwerte war obligatorisch.

3.3.2.2. Cadmium- und Kupferbestimmung im Stuhl

Die Homogenisierung und der Aufschluß der Einzelstuhlproben erfolgte auf die gleiche Art und Weise wie die der Champignons (offenes Verfahren). Zur Erkennung möglicher Fehlerquellen beim Aufschluß wurden etwa 15 % der Stuhlproben im Büchi-Digestor geschlossen verascht.

Die Cadmiumanalyse mit der elektrothermalen Atomabsorptionsspektrometrie erforderte je nach zu erwartender Cadmiumkonzentration eine 5- oder 10-fache Verdünnung mit 0,3 M Salpetersäure. Für die interne Standardaddition arbeiteten wir mit einer $40 \mu\text{g/l}$ Cadmiumstandardlösung.

Die Kupferkonzentration im Stuhl ließ sich nach der gleichen Arbeitsvorschrift ermitteln, die auch für die Messung der Kupfergehalte der Champignons galt.

3.3.2.3. Cadmium- und Kupferbestimmung im Blut

Nach Auftauen der Vollblutproben und 20-minütiger Durchmischung wurde die weitere Probenaufbereitung für die elektrothermale atomabsorptionsspektrometrische Cadmiumanalyse nach der Vorschrift von Stoeppler et al. (1982) durchgeführt. Eine Cadmiumlösung der Konzentration $2 \mu\text{g Cd/l}$ in 1 M HNO_3 wurde für die interne Standardaddition verwendet.

Für die Bestimmung des Kupfergehaltes des Blutes Abpipettieren von $0,5 \text{ ml}$ Vollblut, das mit $2,5 \text{ ml}$ Aqua bidest. versetzt wurde. Mischen in der Schüttelmaschine über 15 Minuten bis zur vollständigen Hämolyse. Direktes Einsetzen dieser Lösung für die Flammenatomabsorptionsspektrometrie. Eichung mit wäßrigen Standardlösungen von 0 bis $1000 \mu\text{g Cu/l}$.

3.3.2.4. Cadmium- und Kupferbestimmung im Urin

Die einzelnen Proben des Morgenurins wurden durchmischt und das Cadmium nach dem von Schaller und Zober (1982) beschriebenen Verfahren mittels flammenloser Atomabsorption gemessen. Auswertung mit Hilfe der internen Standardaddition (Cadmiumstandard in $0,3 \text{ M HNO}_3$ mit $50 \mu\text{g Cd/l}$ im Verhältnis 1:10 dem Harn zugesetzt).

Zur Bestimmung der Kupferkonzentrationen in den Harnproben

Abpipettieren von 20 ml Urin in Polyethylen-Zentrifugenröhrchen, Einstellen auf pH-Wert 2,5. Komplexierung der Metalle durch Zusatz von 0,5 ml einer 5 proz. APDC-Lösung. Überführung der entstandenen Metallkomplexe quantitativ in 3 ml MIBK. Nach 10-minütigem Schütteln Einsetzen des Überstandes für die Flammenatomabsorptionsspektrometrie. 20 ml der Kupferstandardlösungen von 0 bis 1000 $\mu\text{g/l}$ wurden in 12 ml MIBK ausgeschüttelt. Sie dienten der Eichung des Apparates.

Da eine Asservierung der über den gesamten 24-Stunden-Tag ausgeschiedenen Harnmengen nicht durchführbar war, wurden die Meßwerte auf 1 g Kreatinin bezogen, um diuresebedingte Variationen zu korrigieren. Bestimmung des Kreatininhaftes des Morgenurins photometrisch nach der Methode von Jaffé (Boehringer, Mannheim).

3.3.3. Atomabsorptionsspektrometrie

Die Arbeitsbedingungen zur quantitativen Erfassung der Cadmium- und Kupfergehalte der Probenlösungen durch elektrothermale Atomabsorptionsspektrometrie und Flammenatomabsorption sind den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen.

3.3.4. Qualitätskontrolle, Präzision und Richtigkeit

Cadmium- und Kupferstandardlösungen wurden mit einem für das Probenmaterial typischen Konzentrationsbereich in jeder Meßreihe mehrfach mitanalysiert, dabei Reagenzienblindwerte berücksichtigt. Zur Qualitätssicherung standen außerdem käufliche Kontrollsubstanzen zur Verfügung (Angerer et al. 1981):

Tabelle 1: Elektrothermale Atomabsorption,
Cadmium - Analyse

	Stuhl/Pilze	Blut	Urin
I. Spectrophotometer AA-375 (Varian)			
1. Meßart	Absorption		
2. Lampe	Cadmium-Hohlkathodenlampe Varian Techtron		
3. Lampenstromstärke	6mA		
4. Untergrund- kompensation	B		
5. spektrale Band- breite	0,5nm		
6. Spalthöhe	2mm		
7. Wellenlänge	228,8nm		
II. Carbon-Rod-Atomizer CRA-90 (Varian)			
1. Trocknung	100°C, 40s	100°C, 40s	100°C, 40s
2. Veraschung	350°C, 15s	350°C, 15s	350°C, 15s
3. Atomisierung	1900°C	1900°C	1600°C
Holdtime	0,5s	0,5s	3s
Ramprate	800°C/s	800°C/s	200°C/s
4. Inertgas (nachgereinigt)	Stickstoff	Stickstoff	Stickstoff
III. automatischer Probengeber ASD-53 (Varian)			
1. Injektions- volumen	10ml	10ml	5ml
2. Proben- vorbereitung	Verdünnung	Verdünnung	Extraktion
3. Lösungsmittel	0,3M HNO ₃	1M HNO ₃	MIBK
4. Zahl der Messungen	Jede Analysenprobe wurde dreimal in die Graphitküvette injiziert. Der Mittelwert der Atomisierungspeaks wurde für die Konzentrationsbestim- mung herangezogen (graphische Aus- wertung).		
Zu Beginn jeder Meßreihe wurde der zu erwartende Meßbereich durch Eichreihen aus entsprechenden Cad- miumstandardlösungen überprüft.			

Tabelle 2: Flammenatomabsorptionsspektrometrie,
Kupfer- und Cadmiumanalyse

	Kupferanalyse			Cadmium-analyse
	Stuhl/Pilze	Blut	Urin	Stuhl/Pilze
I. Atomic Absorption Spectrophotometer 403 (Perkin-Elmer)				
1. Meßart	Absorption			Absorption
2. Lampe	Kupfer-Hohlkathodenlampe Perkin-Elmer			Cadmium-Hohlkathodenlampe Perkin-Elmer
3. Lampenstromstärke	15mA			8mA
4. Wellenlänge	324,7nm			228,8nm
5. Flamme	Luft-Acetylen			Luft-Acetylen
II. Probenlösungen				
1. Vorbereitung	Verdünnung	Verdünnung	Extraktion	Extraktion
2. Lösungsmittel	wäßrig	wäßrig	MIBK	MIBK
3. Injektionsdauer	Jede Probenlösung wurde bis zum Erreichen eines konstanten Extinktionswertes atomisiert.			

a) Für die Cadmiummessung wurden eingesetzt:

Lanonorm-Metalle 1 (2,5 µg Cd/l) und

Lanonorm-Metalle 2 (10 µg Cd/l) für die Kontrolle der Harnanalyse und

Kontrollblut für Metalle 1 (5,5 µg Cd/l).

b) Für die Bestimmung der Kupferkonzentration im Blut

diente Cation-CalTM Calibration Reference

(1900 µg Cu/l).

Analytische Zuverlässigkeitskriterien

a) Präzision in der Serie:

Für die Medien Blut und Urin und die Meßparameter Cadmium, Kupfer und Kreatinin wurden die Variationskoeffizienten für die Präzision in der Serie bestimmt. Die Ergebnisse sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

b) Richtigkeit:

Zur Überprüfung der Richtigkeit des Aufschlusses von Faeces und Pilzen wurden etwa 15 % der Proben im offenen und im geschlossenen Verfahren verascht und sowohl elektrothermal als auch in der Flamme atomabsorptionsspektrometrisch analysiert. Die ermittelten Konzentrationen unterschieden sich um 7 bis 14 % (für Cadmium) und liegen somit wie die anderen Meßergebnisse im tolerierbaren Bereich.

Die Zuverlässigkeit der Analysenmethodik wurde mit Kontrollblut, Lanonorm-Metalle (Behring) und Cation-CalTM (American Dade) überprüft. Tabelle 4 zeigt die ermittelten Wiederauffindungsraten.

Tabelle 3: Präzision der Analysen

Matrix	Meß- parameter	Probenart	Zahl der Messun- gen	Mittel- wert $\bar{x}$	Nachweis- grenze	Variations- koeffizient v
Blut	Cadmium	Kontrollblut-1	11	5,37µgCd/l	0,2µg/l	14,7%
Blut	Cadmium	Blutpool	10	2,44µgCd/l	0,2µg/l	14,8%
Blut	Kupfer	Blutpool	12	890µgCu/l	50µg/l	7,5%
Urin	Cadmium	Lanonorm-1	10	2,77µgCd/l	0,2µg/l	13,5%
Urin	Kupfer	Sammelurin	10	12,9µgCu/l	5µg/l	6,6%
Urin	Kreatinin	Sammelurin	12	1,20 gKr/l	—	4,1%

Tabelle 4: Zuverlässigkeit der Methodik

Matrix	Meß- parameter	Probenart	Zahl der Messun- gen	Sollwert	gefundenen Wert	Wiederauf- findungsrate
Blut	Cadmium	Kontrollblut-1	11	5,5µgCd/l	5,37µgCd/l	97,6%
Blut	Kupfer	Cation-Cal TM	3	1900µgCu/l	1940µgCu/l	97,9%
Urin	Cadmium	Lanonorm-1	8	2,5µgCd/l	2,67µgCd/l	93,2%

4. ERGEBNISSE

Während der ganzen Versuchsdauer traten keine "Auffälligkeiten" bei den Probanden auf, die weder Beeinträchtigung ihres Wohlbefindens noch gastrointestinale "Sensationen" durch den Genuß von Champignonmahlzeiten empfanden. Die Stuhlproben erfaßten quantitativ die ausgeschiedenen Cadmium- und Kupfermengen in den Faeces: Sämtliche Exkretionen konnten analysiert werden. Auch die Asservierung des Morgenurins und der Blutproben zu den geforderten Zeiten und die Erfassung der individuellen Rauch- und Ernährungsgewohnheiten gestaltete sich unproblematisch.

4.1. Cadmium- und Kupferkonzentrationen der Pilzmahlzeiten

Zweimal 3 Champignonproben wurden untersucht, da die Pilzmahlzeiten in zwei getrennten Versuchsabläufen zubereitet wurden. Die Proben 1, 2 und 3 stammten aus den Champignonmahlzeiten für die Teilnehmer A bis F, während die Pilzmahlzeiten 4, 5 und 6 von den Probanden G und H verzehrt wurden (Tabelle 5).

Der Cadmiumgehalt (Angaben für Kupfer in Klammern) der zubereiteten Pilzmahlzeiten lag in einem Bereich von 1,26 bis 2,93 $\mu\text{g Cd/g}$ (6,83 bis 10,58 $\mu\text{g Cu/g}$).

Unter Berücksichtigung des Wasserverlustes durch Auftauen und Kochen (22,6 bis 44,7 %) ergaben sich für die Konzentration der Metalle in den frischen Egerlingen Werte von 0,98 bis 2,01 $\mu\text{g Cd/g}$ (5,15 bis 8,1 $\mu\text{g Cu/g}$).

Tabelle 5: Cadmium- und Kupferkonzentration der im Versuch verwendeten Champignons, Leerwerte

Pilzproben	Cadmium		Kupfer		Wasser- verlust in %
	gekochte Pilze	in µg/g Frischpilze	gekochte Pilze	in µg/g Frischpilze	
1	2,63	2,01	10,58	8,10	23,5
2	1,26	0,98	6,83	5,30	22,6
3	2,65	1,94	8,38	6,14	26,7
4	1,92	1,25	7,89	5,15	34,7
5	2,93	1,90	10,37	6,72	35,2
6	2,20	1,22	9,56	5,28	44,7
Leerwerte	Cadmium		Kupfer		
wäßrige Phase	nicht nachweisbar		0,42		
Fettphase	0,19		nicht nachweisbar		

Alle Proben wurden als homogenisierte Mischungen verschiedener Champignonarten analysiert. Die verschiedenen Pilzspezies wurden im einzelnen also nicht erfaßt, ebensowenig mögliche Konzentrationsunterschiede von Lamellen und Stiel.

Die Leerwerte aus den verwendeten Essenszutaten bewegten sich im Normalbereich für Nahrungsmittel und konnten deswegen im Vergleich zu den relativ hohen Cadmium- und Kupferkonzentrationen in den Pilzen vernachlässigt werden (Tabelle 5, Leerwerte).

Tabelle 6 zeigt in einer Übersicht die von den einzelnen Personen pro Champignonmahlzeit aufgenommenen Pilzmengen als Frischgewicht. Daneben werden auch die aus den jeweiligen Pilzproben rechnerisch abgeschätzten Belastungen der einzelnen Probanden mit Cadmium und Kupfer durch die Pilzmahlzeiten angegeben.

4.2. Cadmium- und Kupferkonzentrationen im biologischen Probenmaterial

In den Tabellen 7 bis 14 (Anhang) werden, jeweils getrennt für jede Versuchsperson, die Menge der ausgeschiedenen Faeces pro Versuchstag dargestellt. Dabei sind für jede einzelne Defäkation die gemessenen Konzentrationen von Cadmium und Kupfer (in $\mu\text{g/g}$) sowie der Gesamtgehalt an Schwermetallen (in μg) aufgelistet. Als weitere Parameter werden die Blut- und Urinspiegel der beiden Schwermetalle (in $\mu\text{g/l}$ bzw. $\mu\text{g/g}$ Kreatinin) angegeben, die durch die Kreatiningehalte im Harn (in g/l) ergänzt sind. Durch diesen Meßwert sollen die Konzentrationsschwankungen im Mor-

Tabelle 6: Verzehrte Champignonmengen pro Versuchstag und die darin enthaltene Cadmium- und Kupferbelastung für die Versuchspersonen

MENGE DER VERZEHRTEN CHAMPIGNONS (in g)					Cd- (Cu-) AUFNAHME PRO PILZMAHLZEIT (in µg)				
Versuchstage	3	4	5	6	3	4	5	6	
Versuchs- person									
A	405	336	410	---	815 (3280)	328 (1780)	795 (2510)	--- (----)	
B	353	336	437	---	710 (2860)	328 (1780)	848 (2680)	--- (----)	
C	353	465	314	---	710 (2860)	454 (2460)	610 (1930)	--- (----)	
D	314	336	355	---	631 (2540)	328 (1780)	689 (2180)	--- (----)	
E	353	323	287	---	710 (2860)	315 (1710)	557 (1760)	--- (----)	
F	327	336	430	---	658 (2650)	328 (1780)	835 (2640)	--- (----)	
G	---	498	448	462	--- (----)	624 (2560)	850 (3010)	561 (2440)	
H	---	460	478	489	--- (----)	576 (2370)	908 (3220)	594 (2580)	

genurin Berücksichtigung finden.

In den Tabellen 7 bis 14 (Anhang) sind die Tage, an denen die Pilzmahlzeiten verzehrt wurden, jeweils durch Sternchen gekennzeichnet.

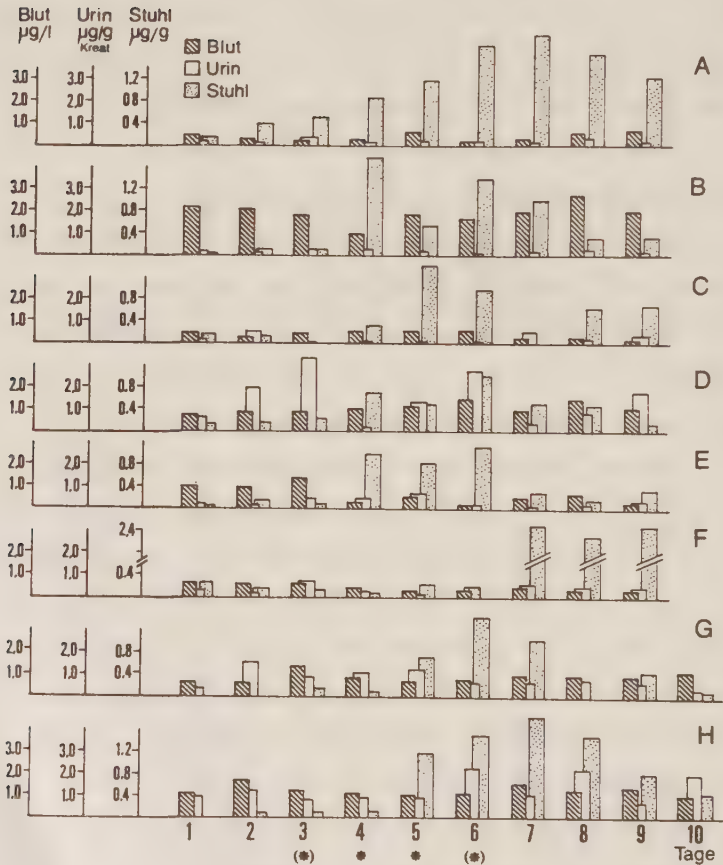
Zur besseren Übersicht werden die im Stuhl, Blut und Urin gefundenen Cadmiumkonzentrationen für alle Probanden in Form von Säulendiagrammen graphisch dargestellt (Abbildung 1). Die Cadmiumkonzentrationen im Stuhl werden in Fällen mit zwei Defäkationen pro Versuchstag (Probanden D, E, G, H) als mittlere Konzentrationen aus den unterschiedlichen Meßwerten im Säulendiagramm eingesetzt.

4.2.1. Meßergebnisse des Cadmiums im Stuhl

Bei allen Versuchsteilnehmern nimmt die Cadmiumkonzentration im Stuhl nach den Pilzmahlzeiten deutlich zu. Dies zeigt sich besonders auffällig bei den Versuchspersonen A und H. Der Anstieg des Cadmiums nach den "Normalwerten" bewegt sich dabei in den Größenordnungen des 9- bis 18-fachen der Ausgangswerte. Die Cadmiumkonzentration im Stuhl der Person B erhöht sich sogar einmal um den Faktor 21. Hier trat der Maximalwert bereits am 4. Versuchstag ein. Die Stuhl-Cadmium-Konzentration erreichte dann am 9. Tag wieder die Ausgangswerte, ebenso bei den Probanden D, E, G und H. Bei den Teilnehmern A und C sinken die Cadmiumkonzentrationen im Stuhl bis Versuchsende zwar ab, die Werte liegen jedoch immer noch deutlich über denen, die vor den Pilzmahlzeiten bestimmt wurden. Nach einer verzögerten Ausscheidung (geringe Stuhlmenge) können bei Proband F fallende Cadmiumkonzentrationen im Stuhl innerhalb

Abbildung 1: Täglich gemessene Cadmiumkonzentrationen in in Stuhl ($\mu\text{g/g}$), Blut ($\mu\text{g/l}$) und Urin ($\mu\text{g/g}_{\text{Kr}}$) der Versuchspersonen A bis H über den gesamten Versuchszeitraum von 9 bzw. 10 Tagen.

Aufnahme der Pilzmahlzeiten an den Versuchstagen 3 bis 5 (Probanden A bis F) bzw. 4 bis 6 (Probanden G und H) mit Sternchen gekennzeichnet.



des Versuchszeitraumes nicht mehr beobachtet werden.

Generell bewegten sich die Cadmiumspiegel im Stuhl während der Vorperiode (Versuchstag 1 bis 3 (bzw. 4)) zwischen 0,056 und 0,511 $\mu\text{g Cd/g}$ (Mittelwert 0,157 $\mu\text{g Cd/g}$). Maximalkonzentrationen von 1,22 bis 2,55 $\mu\text{g Cd/g}$ im Stuhl wurden nach Verzehr der cadmiumbelasteten Egerlinge erreicht.

4.2.2. Meßergebnisse von Cadmium im Blut

Aus den Säulendiagrammen (Abb. 1) geht hervor, daß die Cadmiumkonzentrationen im Vollblut während der gesamten Versuchsperiode in einem Werteband verbleiben, wie sie den Spiegeln der Proben in den ersten Versuchstagen (Vorperiode) entsprechen. Es ergeben sich keine signifikanten Änderungen im Sinne einer fallenden oder steigenden Tendenz.

Die Analysenwerte liegen von 0,19 bis 0,65 $\mu\text{g Cd/l}$ im Vollblut für die Personen A, C und F; etwas höhere Cadmiumspiegel wurden bei den Probanden B, D, E, G und H gefunden (0,21 bis 2,91 $\mu\text{g Cd/l}$).

Für den Parameter "Cadmium im Vollblut" war die intraindividuelle Variation (19 bis 57 %) bei allen Teilnehmern gering (siehe Abb. 2, Kap. 4.3.).

4.2.3. Cadmiumwerte im Urin

Im Morgenurin der Probanden wurden Konzentrationen von 0,14 bis 3,31 $\mu\text{g Cd/g Kreatinin}$ gemessen, bezogen auf den Kreatiningehalt (0,51 bis 4,58 g/l) im Urin. Die Cadmiumspiegel lagen in 3 Harnproben unter der Nachweisgrenze des

verwendeten Meßverfahrens. Mit Konzentrationswerten im Urin von 0,22 bis 3,31 $\mu\text{g Cd/g Kreatinin}$, die mit einem Variationskoeffizienten von 71 % (sonst 11 bis 44 %) verbunden sind, fällt nur Person D auf.

Die Cadmiumkonzentrationen im Urin lassen aber auch hier keine tendenziellen Änderungen erkennen.

4.2.4. Kupfermeßwerte im Blut und Urin

Ein Anstieg der Kupferkonzentrationen im Blut und Morgenurin ist den Tabellen 7 bis 14 nicht zu entnehmen. Die Meßwerte bewegten sich im Blut während der Vorperiode und nach dem Champignonverzehr zwischen 720 und 1740 $\mu\text{g Cu/l Vollblut}$ und variierten bei den einzelnen Versuchspersonen nur wenig. Sie können, wie auch die Kupfer-Harn-Spiegel, die im Bereich von 3,0 bis 17,8 $\mu\text{g Cu/g Kreatinin}$ lagen, als konstant angesehen werden: Es traten über die gesamte Versuchsdauer keine nennenswerten Änderungen auf (Tab. 7 bis 14, Anhang).

4.2.5. Meßergebnisse des Kupfers in den Stuhlproben

Die Zufuhr von Kupfer durch die Champignonmahlzeiten ließ nur bei den Personen A, D und F die Konzentrationen im Stuhl wesentlich ansteigen (von 4,0 bis 56 $\mu\text{g Cu/g}$), während für die Probanden B, C, E, G und H in allen Defäkationen relativ konstante Kupfergehalte analysiert wurden, die in den Größenordnungen von 6,4 bis 24,7 $\mu\text{g Cu/g}$ lagen.

4.3. Statistische Auswertung

Alle Meßergebnisse der einzelnen Probanden während der Versuchsperiode wurden statistisch ausgewertet. Dabei mußten, um die Analysenergebnisse aller 8 Versuchsteilnehmer berücksichtigen zu können, Meßwerte aus einzelnen Stuhlproben folgendermaßen abgeändert eingesetzt werden:

- Mittlere Konzentrationsangaben aus vorangegangener und folgender Defäkation, wenn am entsprechenden Tag keine oder zwei Stuhlproben vorlagen.
- Mittelung der Meßergebnisse der ersten drei Versuchstage, um Ausgangswerte mit einer größeren Probenzahl zu belegen. Konstant sind also die entsprechenden Mediane der Vorperiode in der Faecesanalyse (Abb. 2, 3 und 4).
- Für Berechnungen werden einheitlich 9 Versuchstage zugrunde gelegt. Bei den Personen G und H werden deshalb die Werte des ersten Versuchstages (Vorperiode) zur Koordinierung des Zeitpunktes der Champignonaufnahme nicht berücksichtigt.

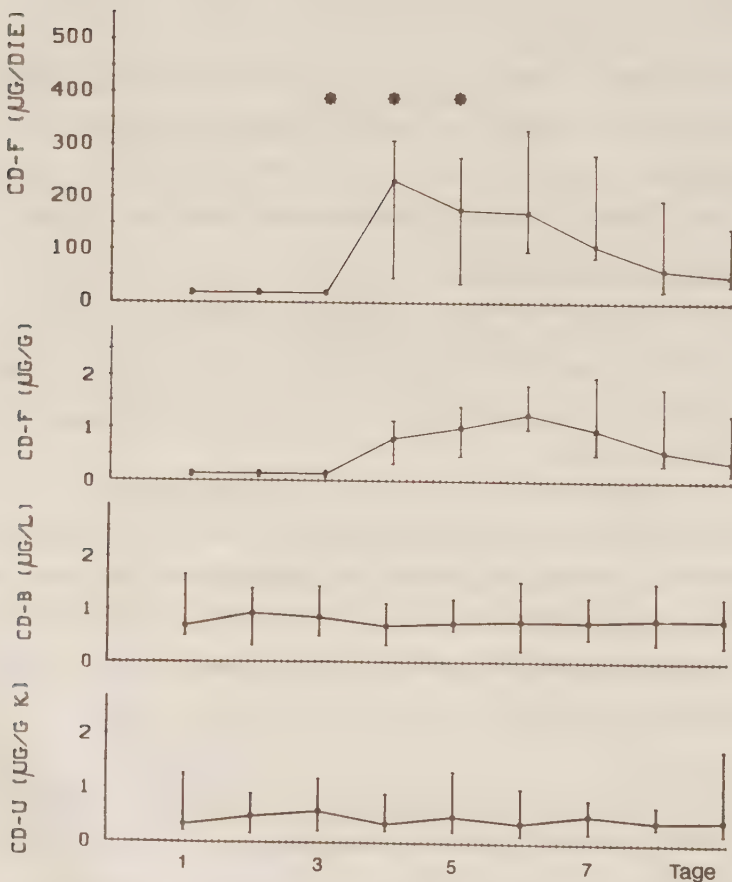
Zusätzlich wurden alle Meßparameter einer Rangtestung nach Friedman unterzogen, die signifikante Änderungen der Cadmium- und Kupferspiegel der einzelnen Versuchstage bzw. der Vorperiode und einzelnen Versuchstagen (Stuhl) aufzeigen sollte.

Aus der graphischen Darstellung der so berechneten Medianwerte und der 66 %-Percentilbereiche (Abb. 2, Abb. 3 bis 6 (Anhang)) läßt sich entnehmen, daß für die Parameter Cad-

Abbildung 2: Cadmiumausscheidung im Stuhl ($\mu\text{g}/\text{die}$),
Cadmiumkonzentration im Stuhl ($\mu\text{g}/\text{g}$),
Cadmiumkonzentration im Blut ($\mu\text{g}/\text{l}$) und
Cadmiumkonzentration im Urin ($\mu\text{g}/\text{g}$ Kreatinin)
der 8 Versuchspersonen.

Für alle 9 Versuchstage sind die Medianwerte
und die 66 %-Percentilbereiche der jeweiligen
Meßgrößen dargestellt.

Der Zeitpunkt der Pilzmahlzeiten ist mit
Sternchen markiert.



mium und Kupfer in Blut und Urin keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Versuchstagen vorliegen. Dies gilt auch für die Konzentration und den Absolutgehalt des Kupfers im Stuhl.

Die Cadmiumkonzentration im Stuhl der Vorperiode unterscheidet sich dagegen signifikant von den Werten, die in den Versuchstagen 5, 6 und 7 ermittelt wurden. Ebenso werden die im Stuhl enthaltenen Cadmiummengen an den Tagen 4 bis 7, also den Tagen nach den Pilzmahlzeiten, im Vergleich zur Vorperiode nachweislich größer.

Im Gegensatz zu dem Ansteigen der Cadmiumgehalte und -konzentrationen im Stuhl finden sich keine erhöhten Werte in Blut und Urin in den Versuchstagen nach den Champignonmahlzeiten.

Für Kupfer lassen sich keine eindeutigen Aussagen über Zusammenhänge zwischen Stuhl-, Blut- und Urinspiegel für den Versuchszeitraum treffen.

In keinem der analysierten biologischen Materialien konnte im Friedmann-Test eine signifikante Änderung der Kupferwerte vor und nach den Champignonmahlzeiten gezeigt werden.

5. DISKUSSION

Für die Beurteilung der Frage der Resorbierbarkeit des Cadmiums aus Pilznahrung haben Kruse und Lommel (1979) auf die Notwendigkeit von "Verfütterungsversuchen" hingewiesen, als sie Untersuchungen über cadmiumbindende Proteine im Schafchampignon anstellten. Derartige Versuchsberichte liegen uns nicht vor.

In einer früheren Arbeit war festgestellt worden, daß nach einer dreitägigen reinen Diät aus wildwachsenden Champignons die Cadmiumkonzentrationen im Stuhl deutlich anstiegen. Dieses Ergebnis entsprach der Erwartung, daß küchentechnisch aufbereitete Speisepilze auf Grund ihres für den menschlichen Darm nicht angreifbaren Chitingerüsts nahezu unverdaut den Magen-Darm-Kanal passieren (Schellmann et al. 1980).

In dieser Untersuchung sollte nun geprüft werden, ob es nach Aufnahme "physiologischer" Mengen wildwachsender Champignons, also Mahlzeiten von etwa 300 bis 400 g, zu einem nachweisbaren Anstieg der Cadmiumspiegel (und Kupferspiegel) in Blut und Urin kommt. Diese Mengen übersteigen deutlich die von der WHO empfohlenen Richtwerte.

Die mittlere Cadmiumkonzentration der Egerlinge lag mit 1 bis 2 $\mu\text{g Cd/g}$ in den Größenordnungen, wie sie für die Mehrzahl der wildwachsenden Wiesenchampignons ländlicher Regionen typisch sind.

Die in den Säulendiagrammen (Abb. 1) anschaulich gemachten Ergebnisse zeigten, daß es nach den Pilzmahlzeiten erwartungsgemäß zu einer signifikanten Erhöhung der Cadmiumkon-

zentrationen im Stuhl der Probanden kommt.

Dagegen ließ sich anhand der Einzelanalysen und nach der statistischen Auswertung der Meßergebnisse kein Nachweis eines Anstieges der Cadmiumspiegel in Blut und Urin führen: Im Gegensatz zu den teilweise bis 20-fach erhöhten Stuhlkonzentrationen bewegten sich die Cadmiumwerte nach den Pilzmahlzeiten in Blut und Urin über den gesamten Versuchszeitraum in dem Band der Ausgangswerte.

Sie lagen im Vollblut während der gesamten Versuchsdauer zwischen 0,2 und 1,6 $\mu\text{g/l}$ (Medianwerte unter 1 $\mu\text{g/l}$) und "unterboten" somit die "normalen" Cadmium-Blut-Spiegel, die für die Allgemeinbevölkerung mit unter 3 $\mu\text{g/l}$ Vollblut angegeben werden (Stoeppler et al. 1982). Schaller et al. (1983) geben einen Medianwert für unbelastete Kollektive von 0,9 $\mu\text{g Cd/l}$ im Blut an.

Die Morgenurinproben zeigten Cadmiumkonzentrationen von 0,2 bis 1,7 $\mu\text{g Cd/g Kreat.}$ (Medianwert 0,5 $\mu\text{g/g}$). Gleiche Urinwerte werden für beruflich unbelastete Personen (Nichtraucher) angegeben (Schaller und Zober 1982).

Ein Anstieg der Kupferkonzentration im Stuhl nach den Testmahlzeiten war nicht signifikant.

Die entsprechenden Blut- und Urinspiegel bewegten sich wiederum nur innerhalb der physiologischen Schwankungsbreiten.

Auch mit diesem "Verfütterungsversuch" ist keine Möglichkeit einer echten Bilanzierung gegeben, mit der die Re-

sorptionsquote des durch die Pilze aufgenommenen Cadmiums festgelegt würde. Die Ergebnisse können dennoch einen Beitrag zur Diskussion über die Gefahren einer chronischen Cadmiumintoxikation durch Aufnahme wildwachsender Egerlinge liefern.

Nach den Messungen der Blut- und Urinspiegel erscheint fraglich, ob - auf Grund der schon diskutierten Besonderheit der Pilzzellen im Hinblick auf ihre Verdaubarkeit - die sonst übliche Bedeutung der Schwermetallkonzentration im Stuhl als Indikator für eine Cadmiumbelastung (Essing et al. 1969, Kjellström et al. 1978) für Pilzmahlzeiten gelten kann.

Ebensowenig scheinen daher auch Ergebnisse einer steigenden, sog. apparenten Cadmiumresorption mit zunehmendem Schwermetallgehalt im Trinkwasser bzw. durch steigend cadmiumkontaminierte Futtermischungen in Tierversuchen (Kögel et al. 1980) übertragbar.

Angesichts der Größenordnungen einer Cadmiumresorption durch Inhalation, wie sie z.B. für Raucher nachgewiesen ist (z.B. Schaller und Zober 1982), sollte die Gefahr einer chronischen Cadmiumintoxikation vorsichtiger eingeschätzt werden.

Folgende Feststellungen lassen sich treffen:

1. Unter den Nahrungsmitteln gehören wildwachsende Wiesenegerlinge zu denen, die relativ hohe Cadmiumwerte aufweisen. (Extrem hohe Konzentrationen dieses Schwermetalls finden sich nach zahlreichen Untersuchungen der letzten Jahre nur in einigen silbenden Champignonar-

ten.)

2. Nach Aufnahme von Mahlzeiten aus wildwachsenden Champignons kommt es im Stuhl zu signifikant erhöhten Cadmiumkonzentrationen.
3. In Blut und Urin läßt sich nach Champignonmahlzeiten dagegen kein Anstieg der Cadmiumspiegel nachweisen.
4. Die Untersuchungsergebnisse sprechen eher dagegen, daß Cadmium aus wildwachsenden Champignons in wesentlichen Quoten resorbiert wird.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Wildwachsende Champignons gelten als besonders belastete Nahrungsmittel. In einem 9-tägigen Versuch wurde an acht Probanden untersucht, inwieweit nach Aufnahme von Mahlzeiten eines Gemisches aus "Wiesenchampignons" eine Resorption von Cadmium und Kupfer nachgewiesen werden kann.

Nach Testmahlzeiten von jeweils 300 bis 400 g Champignons wurden bei den Versuchspersonen die täglichen Cadmium- und Kupferkonzentrationen in Stuhl, Blut und Urin bestimmt und den Ausgangswerten der Vorperiode gegenübergestellt. Als Meßmethoden wurden die elektrothermale Atomabsorption und die Flammenatomabsorptionsspektrometrie eingesetzt.

Nach den Pilzmahlzeiten kam es erwartungsgemäß zu einem deutlichen Anstieg der Cadmiumkonzentrationen im Stuhl der Probanden. In Blut und Urin ließen sich dagegen signifikant erhöhte Cadmium- und Kupferspiegel nicht nachweisen. Die gemessenen Konzentrationen lagen hier durchwegs im Bereich der vorher ermittelten "physiologischen" Werte und entsprachen auch denen, die nach neuer Literatur für unbelastete Kollektive angegeben werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. Angerer J, Schaller K H, Heinrich R (1981)
Erste Erfahrungen mit käuflichen Kontrollmaterialien
für die arbeitsmedizinisch-toxikologische Analytik
Arbeitsmed, Sozialmed, Präventivmed 16: 125-127
2. Anonym (1971)
(Führt Cadmium zur Hypertonie?)
Ref. in: Ärztl Praxis 24
3. BGA zit. nach Medical Tribune (1978)
Wieviel Pilze darf man essen?
Medical Tribune 13: 293
4. BGA - anonym (1979)
Richtwerte 1979 für Blei, Cadmium und Quecksilber in
und auf Lebensmitteln
Bundesgesundheitsblatt 22: 282-283
5. Bielka H (1973)
Molekulare Biologie der Zelle
Gustav Fischer, Stuttgart S 165
6. Bötticher W (1974)
Technologie der Pilzverwertung. Biologie, Chemie,
Kultur, Verwertung, Untersuchung
Eugen Ulmer, Stuttgart S 21-49
7. Bötticher W, Bergmann R (1978)
Qualitätsüberwachung der Pilz- und Waldbeerenernte
1978 im Bayerischen Wald - Erweiterte Kennzahlen von
Himbeer-, Heidelbeer- und Preiselbeermuttersäften
Ind Obst- u Gemüseverwert 63: 637-641
8. Cetto B (1979)
Der große Pilzfürer, Bd 1 und 2
BLV Verlagsgesellschaft, Bern, Wien

9. Collet P (1977)
Die Bestimmung von Schwermetallspuren in Lebensmitteln
mit Hilfe der Inverspolarographie
II. Über den Gehalt von Blei, Cadmium und Kupfer in
Speisepilzen
Deut Lebensm Rundschau 73: 75-82
10. Commission of the European Communities - anonym (1978)
Criteria (Dose / Effect Relationships) for Cadmium
Pergamon Press, Oxford
11. Coulston F (1981)
zit. in: Cadmium - Gift oder essentielles Spurenelement
Selecta 26: 1993 (1981)
12. Diehl J F (1981), Verband der Chemischen Industrie
e.V. (Hrsg)
Wissenschaftliches Gespräch:
Cadmium und Umwelt. Fakten - Daten - Hintergründe
Schriftenreihe Chemie + Fortschritt Heft 3 S 5-16
Frankfurt/M 1981
13. Döhnhardt A (1981)
zit. in: Welche Gefahr droht von Cadmium?
Selecta 46: 3370-3371
14. Essing H G, Schaller K H, Szadkowski D,
Lehnert G (1969)
Usuelle Cadmiumbelastung durch Nahrungsmittel und
Getränke
Arch Hyg 153, 6: 490-494
15. Förstner U (1981)
Protokoll der Sachverständigenanhörung Berlin
2.-4. Nov. 1981
in: Anhörung zu Cadmium
Umweltbundesamt Berlin (Hrsg) B3 S 14-17

16. Friberg L, Kjellström T, Nordberg G, Piscator M (1979)
Cadmium in: Friberg L, Nordberg G F, Vouk V B
Handbook on the Toxicology of Metals, Amsterdam -
New York - Oxford, Elsevier / North Holland Biomedical
Press, Chap 21 S 367-372

17. Hasegawa Y (1982)
"Normal" Levels of Cadmium in Blood and Kidney-Cortex
in the General Population
Int. Workshop on Biological Indications on Cadmium Ex-
posure, Diagnostic and Analytical Reliability
Luxembourg 7.-9. Juli S 23

18. Hasuk A (1975)
Müll und Abfall 6: 172
(zit. nach Nr. 38)

19. Käferstein F K (1980)
Toxische Schwermetalle in Lebensmitteln
Zbl Bakt Hyg 1.Abt Orig B 171: 352-358

20. Käferstein F K (1981)
Protokoll der Sachverständigenanhörung Berlin
2.-4. Nov. 1981
in: Anhörung zu Cadmium
Umweltbundesamt Berlin (Hrsg) C4 S 21

21. Karliček V, Topolčan O, Bilková I, Kott J, Sova J (1971)
Neutronenaktivations-Analyse der Spurenelemente in den
Nieren von Hypertonikern
Cas Léč čes 110: 756

22. Kjellström T, Borg K, Lund G (1978)
Cadmium in Faeces as an Estimator of Daily Cadmium
Intake in Sweden
Environm Res 15 S 242-251

23. Kögel J, Hofmann P, Rosopulo A, Knöppler H O (1980)
Retention von Cadmium in Organen und Geweben von Mast-
schweinen aus natürlich kontaminierten Warenprodukten.
Vortrag, gehalten auf dem VDLUFA-Kongress Braunschweig
15.-20.9. 1980
24. Koppe P (1981)
Protokoll der Sachverständigenanhörung Berlin
2.-4. Nov. 1981
in: Anhörung zu Cadmium
Umweltbundesamt Berlin (Hrsg) B 3 S 10
25. Krämer F (1981)
Protokoll der Sachverständigenanhörung Berlin
2.-4. Nov. 1981
in: Anhörung zu Cadmium
Umweltbundesamt Berlin (Hrsg) B3 S 1-3
26. Kruse H, Lommel A (1979)
Untersuchungen über cadmiumbindende Proteine im
Schaf-Champignon (*Agaricus arvensis* Schff ex Fr)
Z Lebensm Unters Forsch 168: 444-447
27. Lagesson V, Andrasko L (1979)
Direct Determination of Lead and Cadmium in Blood and
Urine by Flameless Atomic Absorption Spectrometry
Clin Chem, Vol 25, 11: 1948-1953
28. Laub E, Waligorski F, Woller R, Lichtenthal H (1977)
Über die Cadmiumanreicherung in Champignons
Z Lebensm Unters Forsch 164: 269
29. Lewis G P, Jusko W J, Coughlin L L, Hartz S (1972)
Contribution of Cigarette Smoking to Cadmium
Accumulation
Lancet Vol 1: 291

30. Lorenz H (1981)
Protoköll der Sachverständigenanhörung Berlin
2.-4. Nov. 1981
in: Anhörung zu Cadmium
Umweltbundesamt Berlin C4 S 21-25
31. Meisch H U, Schmitt J A, Reinle W (1977)
Schwermetalle in höheren Pilzen, Cadmium, Zink und
Kupfer
Z Naturforsch 32c: 172-181
32. Meisch H U, Scholl A R, Schmitt J A (1981)
(Cadmium ist für manche Pilze offenbar Wachstumsfaktor)
Z Naturforsch 36c: 765-771
ref. in: Nachr Chem Tech Lab 29, 12: 846-847 (1981)
33. Ohnesorge F K (1974)
Toxizität von Cadmium und Quecksilber unter dem Aspekt
möglicher Gesundheitsschäden bei der Allgemein-
bevölkerung
in: Problems of the Contamination of Man and his
Environment by Mercury and Cadmium
European Colloquium, Luxembourg, 3.-5. Juli 1973
S 409-417
34. Pudill R, Weinand H A (1981)
(Bedenkliche Konzentrationen bei Müllwerkern)
Arbeitsmed, Sozialmed, Präventivmed 16 S 167
zit. in: Forum Cadmiumintoxikation
Selecta 46: 3371 (1981)
35. Schäfer G, Forth W (1982)
Cadmium - Bewertung eines Schadstoffs
Dtsch Ärztebl 43: 39-57

36. Schaller K H, Schneider L, Hall G, Valentin H (1983)
Cadmium-Gehalt im Vollblut bei Bewohnern verschiedener
Regionen des Freistaates Bayern
Zbl Bakt Hyg, I Abt Orig B 102 (im Druck)
37. Schaller K H, Zober A (1982)
Renale Ausscheidungen toxikologisch relevanter
Metalle bei beruflich unbelasteten Personen
Ärztl Lab 28: 209-214
38. Schellmann B, Opitz O (1978)
Cadmium-, Blei- und Kupferkonzentrationen in Wiesen-
pilzen
Lebensmittelchem Gerichtl Chem 32: 97-99
39. Schellmann B, Hilz M J, Opitz O (1980)
Cadmium- und Kupferausscheidung nach Aufnahme von
Champignon-Mahlzeiten
Z Lebensm Unters Forsch 171: 189-192
40. Seeger R (1982)
Toxische Schwermetalle in Pilzen
Dtsch Apoth Ztung 122, 37: 1835-1844
41. Seeger R, Nützel R, Dill U (1978)
Cadmium in Pilzen
Z Lebensm Unters Forsch 166: 23-24
42. Sharma R P (1981)
High Blood and Urine Levels of Cadmium in Phosphate
Workers: A Preliminary Investigation
Bull Environment Contam Toxicol 27: 806-809
43. Stoeppler M, Angerer J, Fleischer M, Schaller K H (1982)
Cadmium, Senatskommission zur Prüfung gesundheits-
schädlicher Arbeitsstoffe der DFG-Arbeitsgruppe Ana-
lytische Chemie
Analytische Methoden Bd 2: 1-14

44. Stoeppler M, Brand K (1979)
Rapid Determination of Cadmium in Whole Blood and
Urine with Electrothermal AAS
Management & Control of Heavy Metals in the Environ-
ment, International Conference
London, September 1979
45. Süddeutsche Zeitung - anonym (1978)
BGA warnt vor Speisepilzen
Süddeutsche Zeitung 1.7. 1978
46. Szadkowski D, Schaller K H, Lehnert G (1969)
Renale Cadmiumausscheidung, Lebensalter und
arterieller Blutdruck
Z klin Chem u klin Biochem 7: 551-552
47. Thürauf J R E, Schaller K H, Valentin H,
Weltle D (1981)
Zur gegenwärtigen Belastung der Bevölkerung mit Kadmium
Fortschr Med 99, 33: 1312-1317
48. Umweltbundesamt (Hrsg)
Berichte - Luftqualitätskriterien für Cadmium
Berlin 1977
49. Verbraucherzentrale Bayern e.V. (1980)
Pilze - konservieren und zubereiten
Verbraucherzentrale Bayern e.V., Ernährungsberatung
3. Auflage, Best-Druck, München
50. Vetter H (1981)
Protokoll der Sachverständigenanhörung Berlin
2.-4. Nov. 1981
in: Anhörung zu Cadmium
Umweltbundesamt Berlin (Hrsg) B3 S 4-9

51. Welzel (1981)
Protokoll der Sachverständigenanhörung Berlin
2.-4. Nov. 1981
in: Anhörung zu Cadmium
Umweltbundesamt Berlin E1 S 13-23
52. W H O Task Group on Environmental Health
Environmental Health Criteria for Cadmium
Geneva, 1.-12. Juli 1975
53. Zeitlmayr L (1976)
Knaurs Pilzbuch
Droemer Knauer, München, Zürich

8. ANHANG

Tabelle 7: Cadmium- und Kupferwerte in den Asservaten der Versuchsperson

A , männlich , 23 Jahre , Nichtraucher

Ver- suchs- tag	Stuhlmenge (Feucht- gewicht) in: (g)	Konzentration im Stuhl		Gesamtgehalt des Stuhls an		Konzentration im Blut		Konzentration im Urin		Krea- tinin (g/l)
		Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Cd (μg)	Cu (μg)	Cd ($\mu\text{g/l}$)	Cu ($\mu\text{g/l}$)	Cd ($\mu\text{g/g}$ Kreat.)	Cu ($\mu\text{g/g}$ Kreat.)	
1	95	0,113	13,6	10,7	1290	0,50	960	0,25	7,1	3,88
2	45	0,412	15,0	18,5	680	0,31	900	0,22	8,2	4,58
3*	104	0,511	16,5	53,1	1710	0,26	900	0,34	6,5	4,25
4*	254	0,895	18,5	227,4	4710	0,32	900	0,22	6,3	3,18
5*	32	1,203	19,7	38,5	630	0,59	900	0,21	7,3	3,10
6	82	1,80	25,7	147,9	2100	0,19	900	0,23	6,7	3,74
7	143	1,99	26,0	284,9	3730	0,43	840	0,20	7,5	3,99
8	115	1,70	20,1	195,8	2320	0,54	900	0,34	7,5	3,01
9	114	1,27	19,6	144,5	2230	0,65	780	0,14	3,0	4,22

*) An diesen Tagen nahm die Versuchsperson Champignons als Mittagessen zu sich.

Tabelle 8: Cadmium- und Kupferwerte in den Asservaten der Versuchsperson
B , männlich , 23 Jahre , Nichtraucher

Ver- suchs- tag	Stuhlmenge (Feucht- gewicht) in: (g)	Konzentration im Stuhl		Gesamtgehalt des Stuhls an		Konzentration im Blut		Konzentration im Urin		
		Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Cd (μg)	Cu (μg)	Cd ($\mu\text{g/l}$)	Cu ($\mu\text{g/l}$)	Cd ($\mu\text{g/g Kreat.}$)	Cu ($\mu\text{g/g Kreat.}$)	Krea- tinin (g/l)
1	265	0,056	14,5	14,7	3850	2,32	840	0,21	5,7	3,53
2	257	0,091	7,8	23,3	2000	2,19	840	0,17	6,2	3,61
3*	258	0,085	9,0	22,0	2330	1,88	840	0,22	5,9	3,38
4*	270	1,90	12,8	512,9	3450	1,14	840	0,33	6,4	1,56
5*	220	0,557	9,2	122,6	2020	1,93	1080	0,21	5,1	3,89
6	120	1,41	15,6	169,6	1870	1,72	900	0,14	9,6	3,37
7	328	1,02	9,6	335,1	3160	2,04	780	0,19	8,9	3,37
8	218	0,34	9,6	73,0	2090	2,91	780	0,37	21,7	3,46
9	215	0,32	8,3	68,9	1790	2,01	780	0,19	3,5	2,12

*) An diesen Tagen nahm die Versuchsperson Champignons als Mittagessen zu sich.

Tabelle 9: Cadmium- und Kupferwerte in den Asservaten der Versuchsperson
C , männlich , 25 Jahre , Nichtraucher

Ver- suchs- tag	Stuhlmenge (Feucht- gewicht) in: (g)	Konzentration im Stuhl		Gesamtgehalt des Stuhls an		Konzentration im Blut		Konzentration im Urin		
		Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Cd (μg)	Cu (μg)	Cd ($\mu\text{g/l}$)	Cu ($\mu\text{g/l}$)	Cd ($\mu\text{g/g Kreat.}$)	Cu ($\mu\text{g/g Kreat.}$)	Krea- tinin (g/l)
1	190	0,152	14,5	29,0	2760	0,44	720	0,15	11,5	0,65
2	90	0,153	14,4	13,8	1300	0,31	780	0,58	11,3	0,66
3*	---	---	---	---	---	0,48	1260	$\emptyset$	14,8	0,67
4*	98	0,335	14,0	32,9	1370	0,62	780	$\emptyset$	9,8	0,51
5*	180	1,42	20,2	255,4	3640	0,60	780	0,09	10,9	1,14
6	350	0,991	17,0	346,9	5940	0,63	720	0,11	6,5	1,92
7	---	---	---	---	---	0,33	720	0,59	6,6	2,64
8	30	0,657	19,2	19,7	580	0,32	780	0,29	9,2	0,68
9	55	0,730	16,9	40,2	930	0,27	960	0,48	7,4	1,02

*) An diesen Tagen nahm die Versuchsperson Champignons als Mittagessen zu sich.
 $\emptyset$) Die Meßwerte lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Tabelle 10: Cadmium- und Kupferwerte in den Asservaten der Versuchsperson
D , weiblich , 23 Jahre , Raucher

Ver- suchs- tag	Stuhlmenge (Feucht- gewicht) in: (g)	Konzentration im Stuhl		Gesamtgehalt des Stuhls an		Konzentration im Blut		Konzentration im Urin		Krea- tinin (g/l)
		Cd (µg/g)	Cu (µg/g)	Cd (µg)	Cu (µg)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Cd (µg/g Kreat.)	Cu (µg/g Kreat.)	
1	124	0,131	9,36	16,3	1160	0,75	1740	0,67	10,8	1,63
2	208	0,139	4,00	28,8	830	0,92	1740	2,02	8,7	2,58
3*	76	0,254	11,9	19,3	900	0,88	1620	3,31	8,5	1,47
4*	287 und 140	0,931 0,339	11,2 27,6	267,1 47,4	3220 3870	1,11	1500	0,22	9,8	2,29
5*	122 und 104	0,763 0,167	12,6 6,24	93,1 17,4	1540 650	1,19	1560	1,32	10,0	1,25
6	40 und 60	1,22 0,826	11,4 12,1	49,0 49,6	460 720	1,52	1620	2,66	10,1	0,99
7	167	0,560	8,97	93,5	1500	0,90	1680	0,47	9,2	2,44
8	220 und 111	0,637 0,266	6,93 5,81	140,2 29,5	1530 650	1,50	1320	0,88	9,1	1,37
9	172	0,129	11,9	22,2	2050	1,10	1500	1,75	7,9	0,94

*) An diesen Tagen nahm die Versuchsperson Champignons als Mittagessen zu sich.

Tabelle 11: Cadmium- und Kupferwerte in den Asservaten der Versuchsperson

E , männlich , 38 Jahre , Nichtraucher

Ver- suchs- tag	Stuhlmenge (Feucht- gewicht) in: (g)	Konzentration im Stuhl		Gesamtgehalt des Stuhls an		Konzentration im Blut		Konzentration im Urin		Krea- tinin (g/l)
		Cd (µg/g)	Cu (µg/g)	Cd (µg)	Cu (µg)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Cd (µg/g Kreat.)	Cu (µg/g Kreat.)	
1	167	0,082	9,3	13,7	1550	1,02	960	0,26	5,0	1,75
2	105	0,148	12,5	15,5	1310	0,90	900	ø	5,5	2,29
3*	240	0,104	8,3	25,1	1990	1,43	900	0,50	8,3	1,21
4*	198 und 40	1,04 0,875	14,7 16,8	205,1 35,0	2910 670	0,31	900	0,45	4,6	1,89
5*	282	0,833	16,0	234,9	4520	0,61	840	0,74	5,3	1,40
6	185 und 88	1,01 1,45	14,0 9,5	186,6 127,8	2590 830	0,21	840	0,19	4,1	4,24
7	253	0,326	6,3	82,5	1600	0,60	840	0,15	6,0	3,33
8	282	0,188	6,4	53,1	1800	0,72	840	0,25	3,8	3,29
9	125	0,352	14,4	44,0	1800	0,30	840	0,33	3,6	2,75

*) An diesen Tagen nahm die Versuchsperson Champignons als Mittagessen zu sich.

ø) Die Meßwerte lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Tabelle 12: Cadmium- und Kupferwerte in den Asservaten der Versuchsperson

F , weiblich , 22 Jahre , Nichtraucher

Ver- suchs- tag	Stuhlmenge (Feucht- gewicht) in: (g)	Konzentration im Stuhl		Gesamtgehalt des Stuhls an		Konzentration im Blut		Konzentration im Urin		
		Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Cd (μg)	Cu (μg)	Cd ($\mu\text{g/l}$)	Cu ($\mu\text{g/l}$)	Cd ($\mu\text{g/g Kreat.}$)	Cu ($\mu\text{g/g Kreat.}$)	Krea- tinin (g/l)
1	100	0,228	21,9	22,8	2190	0,59	1320	0,38	10,4	2,40
2	80	0,175	20,0	14,0	1600	0,63	1200	0,35	1,4	1,77
3*	97	0,130	18,3	12,6	1780	0,64	1200	0,66	17,8	0,98
4*	50	0,093	17,4	4,63	870	0,42	1140	0,36	8,6	2,90
5*	70	0,244	21,7	17,1	1520	0,34	1080	0,21	9,5	2,64
6	---	-----	-----	-----	-----	0,39	960	0,50	9,9	1,52
7	68	2,55	46,6	173,3	3170	0,51	960	0,56	8,5	2,07
8	23	2,13	56,0	49,0	1290	0,34	900	0,45	9,3	2,42
9	76	2,54	46,4	193,4	3520	0,40	960	0,43	10,7	1,40

*) An diesen Tagen nahm die Versuchsperson Champignons als Mittagessen zu sich.

Tabelle 13: Cadmium- und Kupferwerte in den Asservaten der Versuchsperson
G , weiblich , 54 Jahre , Nichtraucher

Ver- suchs- tag	Stuhlmenge (Feucht- gewicht) in: (g)	Konzentration im Stuhl		Gesamtgehalt des Stuhls an		Konzentration im Blut		Konzentration im Urin		Krea- tinin (g/l)
		Cd (µg/g)	Cu (µg/g)	Cd (µg)	Cu (µg)	Cd (µg/l)	Cu (µg/l)	Cd (µg/g Kreat.)	Cu (µg/g Kreat.)	
1	---	-----	-----	-----	-----	0,64	1020	0,46	9,8	0,76
2	---	-----	-----	-----	-----	0,63	1080	1,65	9,4	1,33
3	140 und 113	0,171 0,172	24,7 13,4	24,0 19,4	3460 1520	1,39	1020	0,90	12,3	0,61
4*	65 und 195	0,152 0,085	18,0 11,8	9,9 16,7	1170 2300	0,79	900	1,18	7,1	1,76
5*	145	0,711	15,6	103,1	2260	0,73	1050	1,25	8,0	1,56
6*	220	1,41	18,8	309,3	4130	0,84	960	0,76	5,9	1,28
7	185 und 137	1,20 0,781	18,6 14,2	222,8 107,0	3440 1940	0,89	900	0,65	9,1	1,37
8	---	-----	-----	-----	-----	0,99	900	0,81	9,2	1,07
9	220 und 68	0,506 0,350	15,4 15,7	111,3 22,5	3380 1070	0,87	1020	0,70	7,5	1,34
10	228	0,152	14,3	34,5	3270	1,22	1080	0,45	10,4	0,72

*) An diesen Tagen nahm die Versuchsperson Champignons als Mittagessen zu sich.

Tabelle 14: Cadmium- und Kupferwerte in den Asservaten der Versuchsperson

H , männlich , 54 Jahre , Raucher

Ver- suchs- tag	Stuhlmenge (Feucht- gewicht) in: (g)	Konzentration im Stuhl		Gesamtgehalt des Stuhls an		Konzentration im Blut		Konzentration im Urin		Krea- tinin (g/l)
		Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Cd (μg)	Cu (μg)	Cd ($\mu\text{g/l}$)	Cu ($\mu\text{g/l}$)	Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cu Kreat.	
1	---	-----	-----	-----	-----	1,11	1080	1,02	5,2	2,42
2	260	0,064	9,89	16,5	2570	1,66	780	1,27	7,0	2,14
3	170	0,075	8,90	12,7	1510	1,13	1020	0,84	6,6	1,51
4*	150 und 67	0,103 0,144	6,40 9,93	15,4 9,7	960 670	1,05	1560	0,93	7,0	2,15
5*	265	1,15	9,74	304,6	2580	1,02	1020	0,90	7,4	2,03
6*	188	1,49	12,1	279,6	2280	1,10	1020	2,21	5,9	2,13
7	240	1,79	11,4	428,5	2750	1,50	960	1,01	6,4	2,34
8	70	1,48	14,7	103,3	1031	1,22	1140	2,04	5,8	2,17
9	111 und 190	1,19 0,493	14,2 9,90	131,9 93,6	1580 1880	1,32	1020	0,65	7,1	1,77
10	138	0,408	13,6	56,2	1880	0,93	1020	1,90	8,9	1,13

*) An diesen Tagen nahm die Versuchsperson Champignons als Mittagessen zu sich.

Abbildung 3: Tägliche Kupferauscheidung im Stuhl ($\mu\text{g}/\text{die}$) der 8 Versuchspersonen.
Dargestellt sind die Medianwerte und die 66 %-Perzentilbereiche für
alle 9 Versuchstage.
Der Zeitpunkt der Pilzmahlzeiten ist mit Sternchen markiert.

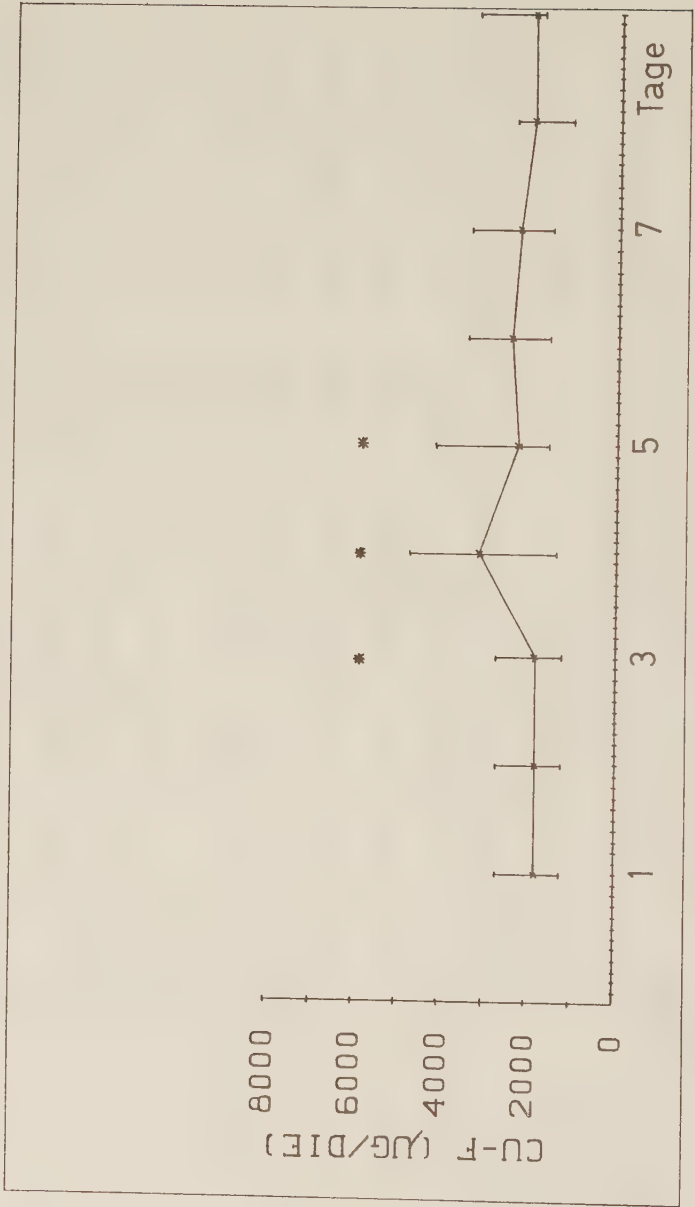


Abbildung 4: Kupferkonzentrationen im Stuhl ($\mu\text{g/g}$) der 8 Versuchspersonen.
Dargestellt sind die Medianwerte und die 66 %-Perzentilbereiche für
jeden der 9 Versuchstage.
Der Zeitpunkt der Pflanzmahlzeiten ist mit Sternchen markiert.

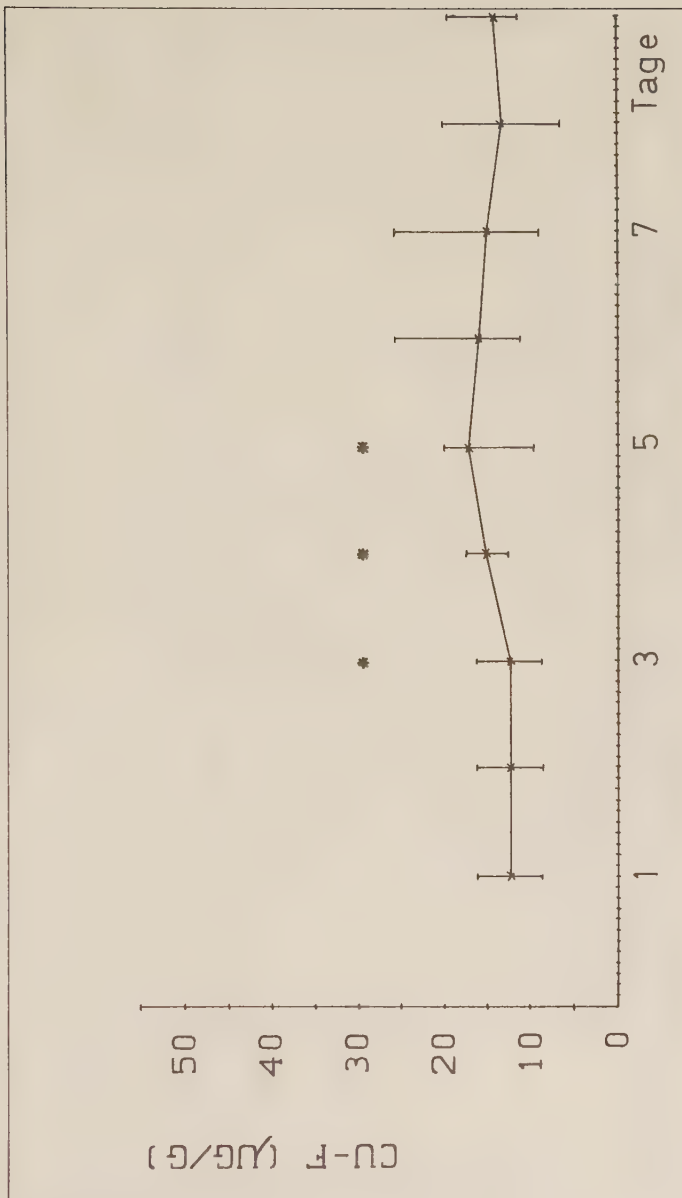


Abbildung 5: Kupferkonzentrationen im Blut ($\mu\text{g/l}$) der 8 Versuchspersonen.
Dargestellt sind die Medianwerte und die 66 %-Perzentilbereiche für jeden der 9 Versuchstage.
Der Zeitpunkt der Pilzmahlzeiten ist mit Sternchen markiert.

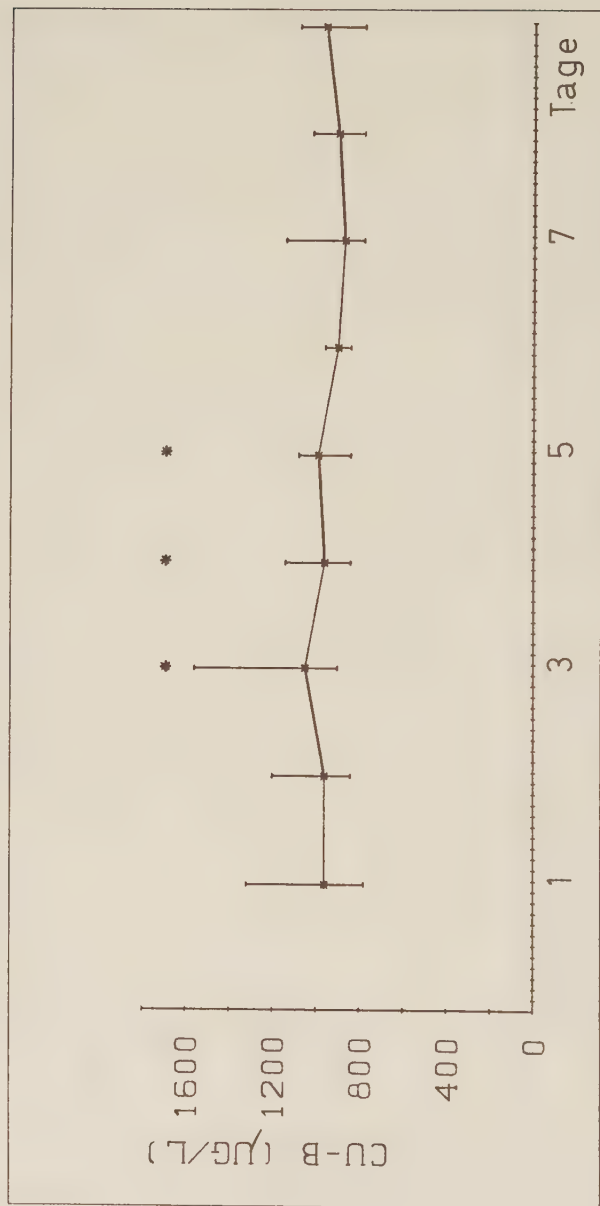
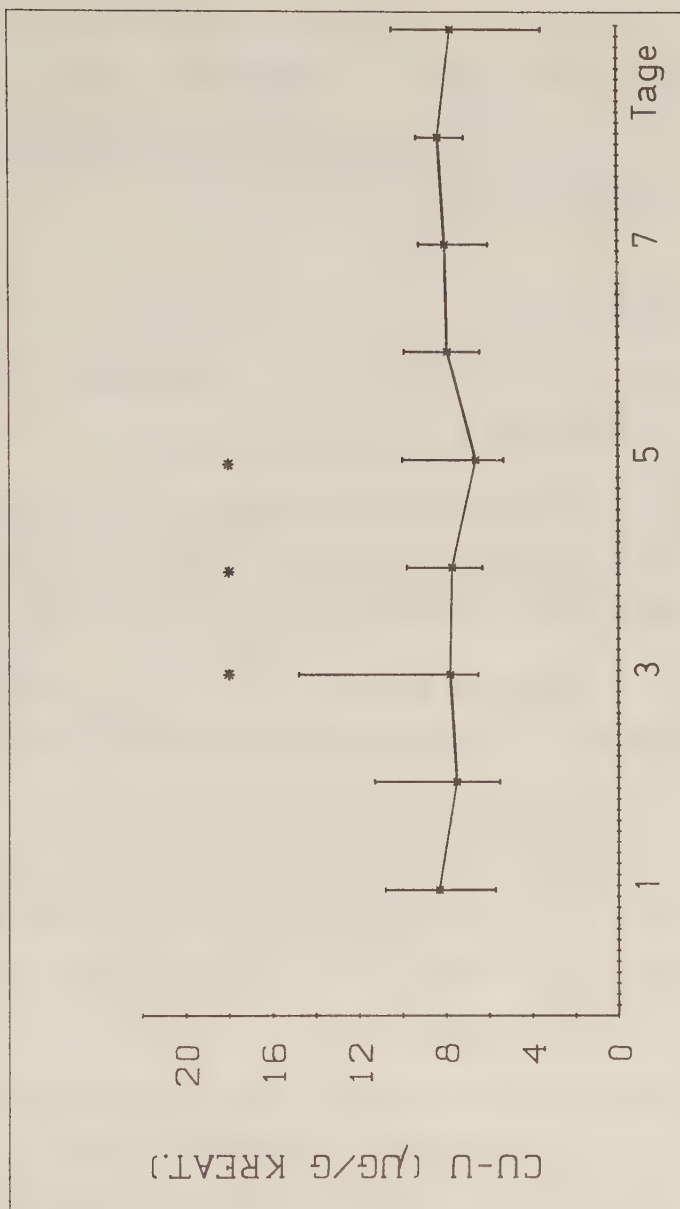


Abbildung 6: Kupferkonzentrationen im Urin ($\mu\text{g/g}$ Kreatinin) der 8 Versuchspersonen. Dargestellt sind die Medianwerte und die 66 %-Perzentilbereiche für jeden der 9 Versuchstage. Der Zeitpunkt der Pflanzmahlzeiten ist mit Sternchen markiert.



Herzlich danke ich Herrn Professor Dr. H.-B. Wuermeling für die Überlassung des Themas und eines Arbeitsplatzes sowie die Übernahme des Korreferates, ebenso Herrn Professor Dr. H. Valentin für die Bereitstellung eines Laborplatzes und die gewährte Hilfe.

Herrn Priv.-Doz. Dr. B. Schellmann danke ich besonders für die freundliche Unterstützung bei der Wahl des Themas, während der gesamten Versuchsdurchführung und bei der Ausarbeitung.

Rat und wesentliche Unterstützung bei den chemischen Analysen erhielt ich von Herrn Dipl.-Chem. K.-H. Schaller, dem ich an dieser Stelle aufrichtigen Dank sagen möchte.

Herrn Dipl.-Phys. D. Weltle danke ich herzlich für die gewährte Hilfestellung bei der statistischen Auswertung.

Frau Thieg möchte ich für die Hilfe bei der praktischen Durchführung der Analytik, insbesondere der Kupferbestimmung, herzlich Dank sagen wie auch Frau Günther, Frau Oefeke, Frau Sutter und Herrn Opitz für ihre freundliche Unterstützung.

Ausdrücklicher Dank gebührt allen Versuchsteilnehmern, die durch ihre spontane, uneigennützige Mithilfe diese Untersuchung erst ermöglicht haben. Ihre Zuverlässigkeit war die Grundlage eines korrekten, problemlosen Versuchsablaufes.

Lebenslauf

Am 8. März 1958 wurde ich, Emil Hans Georg Rohmer, als Sohn des Ehepaares Eugen Rohmer, Studiendirektor an der Berufsschule Bayreuth, und Marie Rohmer, geborene Warter, in Bayreuth geboren. Mein Glaubensbekenntnis ist evangelisch-lutherisch.

September 1964	Schulbeginn in der Volksschule Creußen
September 1969	Eintritt in das Gymnasium Christian-Ernestinum in Bayreuth
29. Juni 1978	Zuerkennung der allgemeinen Hochschulreife
November 1978	Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
1. August 1979	naturwissenschaftliche Vorprüfung
15. April 1981	zahnärztliche Vorprüfung
19. Dezember 1983	zahnärztliche Prüfung vor dem Prüfungsausschuß der Friedrich-Alexander-Universität vollständig abgelegt
ab Januar 1984	Assistenzarzt in der prothetischen Abteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Ulm

Druck: Copy Center 2000
Obere Karlstraße 30
8520 Erlangen